

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Ivana Vukušić

Zagreb, 2013.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof.dr. sc. Gojko Marić

Student:

Ivana Vukušić

Zagreb, 2013

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Izrazila bih zahvalu mentoru, prof. dr. sc. Gojku Mariću na neumornoj podršci i strpljenju te pomoći u prikupljanju potrebnih materijala.

Ivana Vukušić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Ivana Vukušić**

Mat. br.: 0035174775

Naslov rada na
hrvatskom jeziku:

MATERIJALI ZA IZRADU ANATOMSKIH ULOŽAKA STOPALA

Naslov rada na
engleskom jeziku:

MATERIALS USED FOR MAKING ANATOMICAL FOOT INSOLE

Opis zadatka:

Stopalo se sastoji od 26 kostiju, koje su više ili manje pokretne ovisno o vrsti zglobova koji ih povezuju. Najčešće deformacije su spuštene i ravna stopala. Uzrok ove pojave može biti nasljedni faktor, ali i debljina, fizička neaktivnost i neadekvatna obuća, suvremeni način života i profesionalna opterećenja. Posljedice su otežano hodanje i stajanje, bolovi u nogama, a ponekad i u kukovima, koljenima i križima. Korištenjem individualnog anatomskeg uložka stopalo se rasterećuje, postavlja u adekvatan položaj čime se omogućuje ravnomjerna raspodjela pritiska i time utječe na zdravlje i dugovječnost stopala uz prevenciju deformacija i oštećenja povezanih segmenata i tkiva.

Pristupnica će u radu prikazati koji su se sve materijali i tehnologije obrade koristili u izradi anatomskeg uložaka do danas te dati prijedloge za moguću primjenu obnovljivih materijala.

U ovom radu potrebno je učiniti slijedeće:

- opisati problem spuštenih stopala i načine rješavanja
- opisati tehnologije izrade anatomskeg uložaka stopala.
- navesti koji su se sve materijali koristili za izradu do danas.
- dati prijedlog novih materijala koji bi bili bolji izbor za izradu uložka, s posebnim osvrtom na obnovljive materijale.

Zadatak zadan:

15. travnja 2013.

Rok predaje rada:

1. rok: 11. srpnja 2013.


2. rok: 13. rujna 2013.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 15. - 17. srpnja 2013.

2. rok: 18. - 20. rujna 2013.

Zadatak zadao:


Doc. dr. sc. Gojko Marić

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Zoran Kunica

Sadržaj

POPIS SLIKA	5
SAŽETAK.....	7
SUMMARY	8
1. UVOD	9
2. POVIJEST IZRADE ANATOMSKIH ULOŽAKA	10
3. SUVREMENI MATERIJALI ANATOMSKIH ULOŽAKA.....	13
3.1. Prirodni materijali	16
3.2. Sintetski materijali.....	19
4. TEHNOLOGIJE IZRADE ANATOMSKIH ULOŽAKA.....	30
5. ZAKLJUČAK	37
LITERATURA.....	38

POPIS SLIKA

Slika 1. Logo Everett H. Dunbarove tvrtke [4]	10
Slika 2. Izrada gipsanog kalupa [8]	11
Slika 3. Gipsani kalup [9]	12
Slika 4. Elastometar [10]	13
Slika 5. Inston 1026 Bench kidalica [11]	14
Slika 6. Skeniranje gibajućeg stopala [12]	14
Slika 7. Kompjuterska analiza gibajućeg stopala [13]	15
Slika 8. Anatomske ulošci od pluta [17]	16
Slika 9. Kožni uložak [18]	17
Slika 10. Anatomske uložak napravljen od prirodne gume [14]	18
Slika 11. Polimer EVA [20]	19
Slika 12. EVA ljuska anatomske uloške [21]	19
Slika 13. Anatomske uložak u potpunosti izrađen od EVA soft [19]	20
Slika 14. Prikaz pjene s otvorenim i ztvorenim ćelijama [22]	20
Slika 15. Erozijske krutim česticama za neke od materijala [21]	20
Slika 16. Monomer akrilata [24]	21
Slika 17. Ljuska anatomske uloške napravljena od Polydura [26]	21
Slika 18. Polimerizacija polipropilena [27]	22
Slika 19. Vakuumski formirana polipropilenska ljuska anatomske uloške [21]	22
Slika 20. Direktno lijevana polipropilenska ljuska anatomske uloške [21]	23
Slika 21. Polietilen [28]	24
Slika 22. Plastazote pjene [29]	24
Slika 23. Vinil završni sloj uloške [30]	25
Slika 24. Podloga anatomske uloške izrađena od porona [33]	26
Slika 25. Ljuska anatomske uloške od ugljičnih vlakana [21]	26
Slika 26. Silikonske ulošci [34]	27
Slika 27. Silikonski umetak za prste [34]	27
Slika 28. Neopren materijal za izradu pokrova ortopedskog uloške [36]	28

Slika 29. Nylene završni sloj uloška [37].....	29
Slika 30. Namještanje stopala u pravilan položaj [38].....	30
Slika 31. Nanošenje gipsanih traka na stopalo [38]	31
Slika 32. Pažljivo skidanje osušenog kalupa [38]	31
Slika 33. Uzimanje otiska stopala pomoću biopjene [40].....	32
Slika 34. Ulijevanje gipsa u otisak [1]	32
Slika 35. Grijanje materijala da se oblikuje prema pozitivu otiska [44]	33
Slika 36. Materijal na pozitivu otiska nakon grijanja [44]	33
Slika 37. Obrada uloška brušenjem [44]	34
Slika 38. Uzimanje otiska noge skenerom [47].....	35
Slika 39. Prikaz raspodjele opterećenja [48]	35
Slika 40. Izrada uloška obradom odvajanjem čestica [49]	36
Slika 41. Uložak izrađen glodanjem na CNC-u od EVA pjene [50].....	36

SAŽETAK

Za izradu kvalitetnog anatomskeg uložka potrebno je, osim medicinskog problema, poznavati svojstva materijala te tehnologije izrade. Kroz povijest su se na različite načine rješavali problemi umornih, spuštenih stopala, a neka rješenja i materijali su, iako unaprijeđeni, korišteni i danas. Razvojem medicine ustanovilo se da spuštene i deformirana stopala dovode do mnogo većih zdravstvenih problema, a jedini adekvatan odgovor na to je razvoj uzimanja otiska stopala kako bi se osigurala individualna konstrukcija samog uložka čije uspješne izvedbe nebi bilo bez novo razvijenih materijala. Kako bi se pacijentu osigurao odgovarajući uložak za njegove potrebe i stil života koriste se razni materijali i kombinacije materijala stoga, ako je potrebna kontrola kretanja zglobova koristit ćemo primjerice pluto koji zbog svoje tvrdoće odgovara tim zahtjevima, koža će biti dobra kao završni sloj jer može upiti i do 30% vlage sa površine stopala ne mijenjajući pri tom svoj oblik i svojstva, od prirodne gume se izrađuju korektivni elementi koji su osnovni način izrade korektivnog uložka. Uz navedene primjere prirodnih materijala postoji nedvojbeno puno sintetskih materijala kao što su EVA (etilen-vinil-acetat), akrilati, polipropilen, polietilen, vinil, poliuretani, kompoziti sa ojačalima od ugljičnim vlaknima, silikoni, neopren čija će svojstva pa tako i primjena ovisiti o načinu proizvodnje takvih materijala, a često i o kombinacijama istih. Danas se u svrhu izrade većinom koriste polimerni materijali koji su fosilnog porijekla što znači da su na bazi nafte. Zbog limitiranih izvora nafte i ekoloških problema očekujese da će se u budućnosti sve više koristiti prirodni materijali.

KLJUČNE RIJEČI: ortopedski uložak, materijal, anatomskeg uložak, spuštene stopala

SUMMARY

To create high-quality anatomical insoles is necessary, except for medical problem, know the properties of materials and manufacturing technology. Through history problems of tired or flat feet attempted to solve in different ways, some solutions and materials are still used today. Development of medicine found that deformed and descended feet lead to a lot major health problems, and the only appropriate response to this problem is development of taking footprint to ensure the individual structures of the insoles whose successful production would not be without new developed materials. In order to ensure adequate patient insoles for their needs and lifestyle use of various materials and combinations of materials is necessary. For example, control of movement joints will be insured by using material such as cork because of its hardness fills these requirements, the leather will be as good as the final layer because it can absorb up to 30% moisture from the surface of the foot and is not changing at the same time its shape and properties. Of the natural rubber are produced corrective elements which are the basic way of making corrective insoles. In addition to these examples of natural materials, there is undoubtedly a lot of synthetic materials such as EVA (ethylene-vinyl-acetate), acrylic, polypropylene, polyethylene, vinyl, polyurethane, composites with an intense than carbon fiber, silicone, neoprene whose properties including the application depend the mode of production of such materials, and often on combinations thereof. Today, in order to make insoles the most used are polymeric materials which are of fossil origin. Due to limited oil resources and environmental problems are expected to use, more natural materials in the future.

KEY WORDS: orthopedic insole, materials, anatomical insole, flat feet, descended feet

1. UVOD

Anatomske ulošci su umetci za cipele koji pomažu uspostaviti prirodan položaj stopala. Mnogi problemi sa stopalima kao što su bolne kosti stopala, bolovi u peti, deformacije stopala, ali također bolovi koljena, kukova i kralježnice su posljedica ravnih stopala. Ortopedski ulošci pomažu postavljanju zglobova na njihovo pravo mjesto kako bi se ublažili različiti simptomi, ali ponekad su i alternativno rješenje umjesto operacije. Postoje različite vrste ortopedskih uložaka ovisno o potrebama, životnom stilu te najvažnije ovisno o promjenama koje se događaju sa stopalima. Izrada ortopedskih uložaka vrši se različitim tehnikama i od različitih materijala u ovisnosti o potrebama pacijenta [1]. S pozicije pacijenta svakako su najvažnija svojstva pokrovnog materijala. Komfor spada u jedan od bitnih kriterija izbora materijala jer bez izostanka komfora nošenje ortopedskog uloškanice biti ugodno te će se izbjegavati. Pored komfora kod izrade uložaka potrebno je imati na umu da ortopedski uložak mora postići željeni učinak što je nemoguće za neke primjene s „mekim“ materijalima. Zato je odabir materijala ili češće kombinacije nekoliko materijala jako bitan. U nastavku će biti detaljno opisane tehnologije izrade ortopedskih uložaka, korišteni materijali i njihova svojstva te utjecaj na kvalitetu.

2. POVIJEST IZRADE ANATOMSKIH ULOŽAKA

Prvi umetci u cipelama su se počeli koristiti prije najmanje 2000 godina. Tada su to bili slojevi vune smješteni unutar sandale koji su bili olakšanje umornim stopalima. Potpora luku stopala se prvi put spominje 1865. godine kada je Everett H. Dunbar ubacio kožni umetak između potplate i uložka [2]. Everett Henry Dunbar je otvorio dućan i počeo raditi cipele po narudžbi iako je u to vrijeme taj zanat nestao jer su velike tvornice zauzele mjesto malim dućanima. On ne samo da je bio postolar, već student istražitelj i genij. Studirao je strukturu stopala te je razvio cipele koje bolje podupiru luk, cipele koje bolje zadržavaju prirodni oblik stopala ukoliko cipele napravljene prema znanstvenim principima. Od skromnog početka izgradio je veliku tvrtku koja se bavi izradom cipela po narudžbi, no 1907. godine se povlači iz proizvodnje cipela kako bi proizvodio potpornje luku što je njegov vlastiti izum [3].



Slika 1. Logo Everett H. Dunbarove tvrtke [4]

Prve samostalne ortopedске uloške napravio je ortoped Royal Whitman 1905. g. To su bili kruti potpornji za luk stopala od teškog metala s napravljenim obodom oko luka stopala i pete. Bilo je teško to nositi i iskrivljavalo je cipelu. Ipak zbog Whitmanovog ugleda široko je prihvaćena od strane ortopedskih kirurga. Razlog korištenja metala je bio taj da noga treba čvrste temelje kako se luk stopala ne bi urušavao tj. spuštao. Tijekom godina koža postaje materijal koji se koristi za potporne umetke za luk stopala. Unatoč manjkavostima

Whitemanovog steznika, njegovi naponi imali su dubok utisak u razvoju funkcionalnih ortopedskih uložaka [5]. Oko 1910. g mladi liječnik dr. William Scholl je uveo lakšu i fleksibilniju metalnu podršku za luk stopala poznat kao „Foot-easer“. Tijekom narednih godina prodani su milijuni parova. Gotove cipele su se radile u nekoliko osnovnih veličina pa su se kupci često žalili na bolove u stopalima, zbog toga se Scholl počinje baviti proučavanjem ljudskog tijela s naglaskom na stopala. Proučavanjem dolazi do spoznaje da osim neodgovarajućih veličina je problem i u nedovoljnom podupiranju luka stopala. Stoga je izumio fleksibilnu metalnu ploču prekrivenu kožom koja upotpunjava dio luka stopala i djeluje kao amortizer. Kada je to počeo prodavati kupci su govorili da im je to olakšalo probleme sa stopalima i zato je taj izum nazvan „Foot-easer“. Scholl otvara malu radnju gdje mnogo vremena ulaže u proizvodnju "Foot-Easers", a korisnici svjedoče kako im je to poboljšalo zdravlje [6]. Tijekom 1920-ih i 1930-ih godina mnogi proizvođači su počeli proizvoditi korektivne cipele s ugrađenim ortopedskim pomagalima obećavajući da će spriječiti ili ublažiti mnoge probleme sa stopalima, stoga je takva obuća postala veliki i unosan dio industrije obuće. Oko 1940 reklamni pothvati brojnih proizvođača „medicinske“ obuće zasitili su tržište pa posao sa korektivnim cipelama brzo nestaje. Za vrijeme 1960-tih počinju se uvoditi novi materijali koji su lakši i čvršći, što ortopedskim pomagalima daje novi smjer. Više se počelo raditi obuću po narudžbi jer su se uveli u izradu gipsani kalupi koje su izrađivali doktori po mjeri pacijentove noge, iako je većina obuće kao i danas bila tvornička po brojevima prema veličinama stopala.



Slika 2. Izrada gipsanog kalupa [8]



Slika 3. Gipsani kalup [9]

Gipsane kalupe kasnije zamjenjuju neke manje neuredne ljevačke tehnike pa čak i lijevanje pomoću računala. Moderna anatomska obuća se razvija naglo 1970-tih sa najvećim usponom u sportskoj obući. Sportske tenisice su počele sadržavati dijelove ortopedске obuće, što je bio velik pomak u sportskoj medicini. Tako je ortopedska obuća postala standardni dio liječenja. Danas je ortopedska obuća prešla dug put od neudobnih Whitmanovih pomagala, a potporanj luku stopala je samo mali dio ortopedске obuće [7].

3. SUVREMENI MATERIJALI ANATOMSKIH ULOŽAKA

Moderni komercijalno dostupni materijali su uglavnom polimeri s različitim mehaničkim svojstvima. Razumijevanje svojstava ovih materijala predstavlja jedno od najvažnijih pitanja u izradi adekvatnih ortopedskih uložaka, što ujedno podržava kontinuirano istraživanje na ovom polju. Ovo je iziskivalo potrebu da se detaljno istraže svojstva ljudskih mekih tkiva kako bi se bolje shvatio proces njihovog ozljeđivanja. Prvi uređaj napravljen u tu svrhu bio je elastometar, sredinom 70-tih godina prošlog stoljeća. Njime su se mjerila mehanička svojstva bioloških tkiva.



Slika 4. Elastometar [10]

Ove spoznaje su se obilno koristile u razvoju umjetnih materijala. Sredinom 80-tih godina razvijen je Inston BenchTester kojim su se mjerila svojstva plastike na tlak i vlak od koje se izrađuju anatomske ulošci.

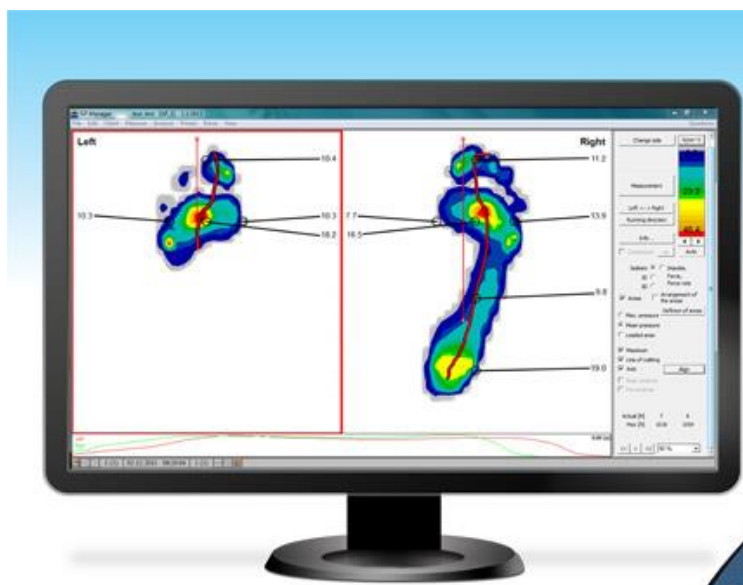


Slika 5. Instron 1026 Bench kidalica [11]

Daljnji razvoj ovakvih uređaja rezultirao je u ranim 90-tim razvojem prvog računalom kontroliranog uređaja koji je bio povezan s analognim uređajima za mjerenje i koji je omogućavao puno kvalitetnije mjerenje i praćenje rezultata. Primarno se koristio za testiranje materijala za izradu obuće, no našao je primjenu i u testiranju materijala od kojih se izrađuju ortopedski ulošci. Velika studija ortopedskih materijala 1996. godine u USA identificirala je najpopularnije materijale i njihove kombinacije za izradu anatomskih uložaka. Sastavljena je top lista materijala koje se preporuča koristiti, a koja i danas predstavlja osnovu njihovog odabira u praksi. Danas se u svrhu mjerenja svojstava materijala koristi i ciklički kompresijski testni uređaj koji simulira hod.



Slika 6. Skeniranje gibajućeg stopala[12]



Slika 7. Kompjuterska analiza gibajućeg stopala [13]

Posebno je od koristi za testiranje materijala za izradu ortopedskih uložaka i obuće za bolesnike oboljele od dijabetesa, pošto je njime moguće simulirati modele hoda kakvi su kod njih uobičajeni. Ovakvim mjerenjima značajno su unaprijeđene spoznaje o utjecaju svojstava materijala na mogućnost sprječavanja nastanka ulceroznih (Ulcer je lokalizirana rana koja se pojavljuje na mjestima na kojima koža i meko tkivo trpi najveći pritisak) promjena na stopalu takvih pacijenata i to se danas koristi u praktične svrhe izrade obuće i uložaka za stopala. Materijale koji se koriste u ortopediji možemo podijeliti prema nekoliko kriterija. U ovom pregledu zadržati ćemo se na podjeli prema podrijetlu, te ćemo spomenuti najbitnije. Dakle, obzirom na njihovo podrijetlo materijali za anatomske uloške za stopala dijele se na prirodne, sintetske, njihove kombinacije i ostale. Pored mehaničkih svojstava važno je naglasiti još nekoliko bitnih elemenata koje materijali za izradu uložka stopala moraju obuhvaćati. Pošto je ovakvo pomagalo u konstantnom doticaju sa stopalom, materijali od kojih je izrađeno ne bi smjeli sadržavati tvari koje stopalu mogu naštetiti bilo u toksikološkom, alergološkom ili fizikalnom smislu. Ovo se ponajprije odnosi na potrebu da materijali ne sadržavaju toksične pigmente, teške metale, nikal, PVC (polyvinyl-chloride), CFC (chlorofluorocarbon), formaldehid te druga štetna evaporirajuća otapala i sastojke, što nameće potrebu kontinuiranog praćenja njihove kvalitete i sastava. Kroz izradu ortopedskih uložaka troše se

značajne količine materijala, pa se postavlja pitanje kako odlaganja iskorištenih proizvoda tako i pohrane ostataka materijala nastalog njihovom proizvodnjom. Nameće se stoga pored ostalog i potreba za materijalima koje je moguće reciklirati ili što jeftinije i adekvatno deponirati [14].

3.1. Prirodni materijali

PLUTO

Pluto je vanjska kora jedne vrste drveta - hrasta plutnjaka. Kora hrasta plutnjaka prvi put se skida s drveta tek kad je ono staro dvadeset godina. Poslije devet godina kora se skida po drugi put. To se ponavlja svakih devet godina u razdoblju oko stotinu godina [15]. Jedan je od najstarijih materijala što se primjenjuje u ortotici. Vodeći svjetski proizvođač pluta je Portugal. Vrlo je lagan i jednostavan za strojnu obradu. Pluto dolazi u formi ploča raznih debljina, a kada postoji potreba moguće je međusobnim lijepljenjem postići željenu debljinu. Ulošci napravljeni od pluta su prilično tvrdi što omogućava da se njima može postići značajna kontrola kretanja u zglobovima stopala, no njihova tvrdoća je ujedno i nedostatak jer se pacijenti puno duže na njih privikavaju radi nedostatka ugodnosti. Prirodno pluto je lomljiv materijal, pa je uloške potrebno zamijeniti unutar 1-1.5 godina korištenja, radi praktično nepopravljivih oštećenja [16].



Slika 8. Anatomski ulošci od pluta [17]

PRIRODNA KOŽA

Također, jedan od najstarijih materijala u ortopediji stopala. Osnovna građevna jedinica kože su molekule kolagena međusobno ispletene u trodimenzionalnu mrežu. Koža je žilav materijal koji se slabo isteže. Lako se obrađuje rezanjem, brušenjem, a umjereno se i termo modelira. Svojstva kože ovise o porijeklu životinje te o tipu štavljenja. U ortotici stopala preferira se koža koja se prirodno štavi radi neutralnog i antiperspirativnog učinka (učinak koji sprečava znojenje) na stopalo (koža može upiti i do 30% vlage s površine stopala ne mijenjajući pri tom svoj oblik i svojstva). Ukoliko se održava, ne izlaže pretjerano vlazi i toplini, te učestalo ne savija, može vrlo dugo trajati zadržavajući početni oblik. Izvrstan je završni sloj u kombinaciji sa slojem koji ima dobra amortizirajuća svojstva. Nedostatak ovog sloja je što ne amortizira, upija vlagu i ostaje mokro, te se mrlje s takvog materijala odstranjuju teško ili nikako. Koža se upotrebljava bilo kao pokrovni materijal uloška bilo kao osnovni materijal uloška [16].



Slika 9. Kožni uložak [18]

PRIRODNA GUMA

Izvor prirodnog kaučuka je drvo kaučukovac koje je rasprostranjeno diljem Južne Amerike. Prirodna guma dobiva se procesom vulkanizacije iz sirovog kaučuka. Karakterizira ju žilavost i iznimna elastičnost. Premda se teško strojno obrađuje, lako se lijepi za druge materijale, te dugotrajno zadržava inicijalnu formu. Iako se rijetko koristi za izradu cjelovitog uložka od nje se izrađuju svi korektivni elementi (jastučići, podrška za uzdužne lukove, klinovi, povišenja, razna olakšanja itd.). Navedeni elementi su zapravo osnovni način provođenja korekcija kod klasičnog pristupa izrade anatomskih uložaka [16].

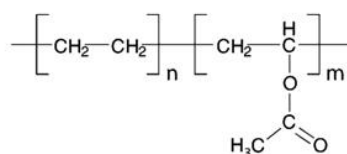


Slika 10. Anatomski uložak napravljen od prirodne gume [14]

3.2. Sintetskimaterijali

EVA (ETILEN-VINIL-ACETAT)

Etilen vinil acetat (EVA) je kopolimer etilena i vinil acetata. EVA polimerni lanci se sastoje od monomernih jedinica spojenih putem slobodnih radikala s dvostrukom vezom dvaju monomera, etilen i vinilacetata[20].



Slika 11. Polimer EVA [20]

EVA je svakako najrasprostranjeniji sintetski materijal koji se koristi u proizvodnji ortopedskih uložaka stopala. Ovaj je materijal lagan, jednostavan za termičko modeliranje i strojnu obradu. EVA posjeduje iznimna apsorbirajuća svojstva sile te je otporna na savijanje. Lako se održava te se može prati korištenjem vode i deterdženata. Može se koristiti kao osnovni i/ili pokrovni materijal uložka. Vijek trajanja uložaka izrađenih od EVA je približno godinu dana ili prijeđenih 700 km. EVA dolazi u obliku ploča različitih debljina i tvrdoća ili u formama koje pojednostavljuju njihovu pripremu za strojnu obradu u CAD/CAM (Computer-aideddesign/Computer-aideddesign) ortotici [16].



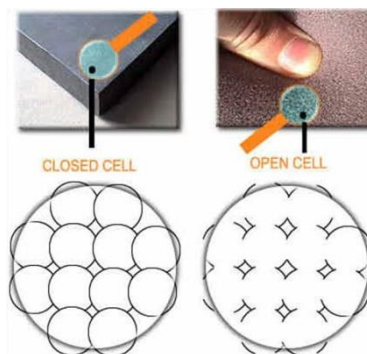
Slika 12. EVA ljuska anatomskog uložka [21]

Prednosti mekog EVA materijala su dugotrajnost, u početku dobra amortizacija, pomalo je krut pa lako ulazi u cipelu, lako se savija pa dobro prijanja i otporan je na trganje. No neki korisnici se žale na prekomjerno povećanje temperature u odnosu na druge materijale do kojeg dolazi zbog trenja [21].



Slika 13. Anatomski uložak u potpunosti izrađen od EVA soft [19]

EVA visoke gustoće je jednoslojni materijal-pjena sa zatvorenim ćelijama. Pjena se stvara tako da mjehurić plina ostane zarobljen unutar kemijske smole. Pjena može biti stvorena kao endotermna (uz zagrijavanje) i egzotermna (kemijskom reakcijom bez dovođenja topline). Većina pjena sa zatvorenim ćelijama napravljena je endotermnim postupkom [22].



Slika 14. Prikaz pjene s otvorenim i zatvorenim ćelijama [22]

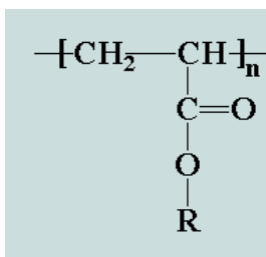
Dugotrajan materijal otporan na trošenje, jako je krut pa se lako smješta unutar obuće, dobar je izbor pri izradi podizača pete ili kada je potreban krut produžetak na prednjem dijelu stopala. To je materijal koji vrlo malo amortizira što mu je kao završnom sloju mana [23].



Slika 15. Erozija krutim česticama za neke od materijala [21]

AKRILATI

Akrilati su polimeri sastavljeni od akrilat monomera. Akrilat monomeri su esteri (reakcija alkohola i karboksilne kiseline) akrilne kiseline. Akrilat monomer ili akrilat je ime za svaki ester koji sadrži vinilnu skupinu koja se dobiva sa dva međusobno povezana atoma ugljika spojena neposredno na karbonil [24].



Slika 16. Monomer akrilata [24]

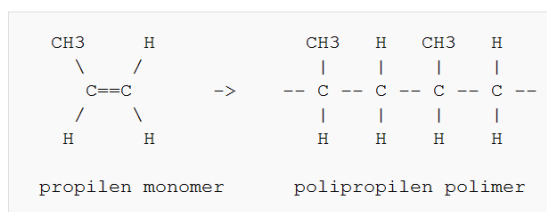
Akrilati su našli široku primjenu u izradi anatomskih uložaka stopala. Počeli su se među prvima upotrebljavati u izradi uložaka stopala radi njihove dostupnosti, kvalitetnog termomodeliranja, lakoće strojne obrade te iznimne krutosti. Koriste se prije svega u slučajevima kad je potrebno postići kvalitetnu kontrolu kretanja u zglobovima stopala. Nedostatak im je sklonost lomu. Najpoznatiji materijal s akrilatnom osnovom je Polydur (polimetil-metakrilat) [25].



Slika 17. Ljuska anatomskog uložka napravljena od Polydura [26]

POLIPROPILEN

Polipropilen (PP) je makromolekularni produkt polimerizacije propilena [27].



Slika 18. Polimerizacija polipropilena [27]

Iznimno je otporan na lom, no obzirom da osnovna molekula podliježe značajnoj elongaciji tijekom vremena, za očekivati je da će se školjka uložka izrađena od ovog materijala deformirati tijekom vremena. Iz razloga što je ovaj materijal relativno deblji nego drugi materijali, on je pogodan za obradu od strane praktičara. Koristeći uredsku priručnu brusilicu moguće je izdubiti dodatne promjene na površini uložka. Polipropilen je dostupan u pločama raznih debljina od 2 – 6 mm te dolazi u formi homopolimera (100% polipropilen; vrlo tvrd materijal) ili kopolimera (do 15% polipropilena; fleksibilan i jeftin) [16]. Također može biti vakuumski oblikovan i direktno lijevan. Vakuumski oblikovan polypropylene se koristi pri izradi anatomskih uložaka po narudžbi. Ljuska se sastoji od sloja polipropilena toplinski formiranom prema pozitivu kalupa stopala izrađenog od gipsa ili pluta [21].



Slika 19. Vakuumski formirana polipropilenska ljuska anatomskog uložka [21]

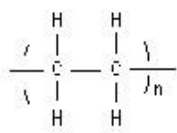
Direktno lijevan polipropilen se također koristi pri izradi anatomskih uložaka po narudžbi. Ljuska je lijevana direktno iz bloka polipropilena na temelju virtualnog pozitiva kalupa ljudskog stopala. Izravno lijevani polipropilen ima veću krutost u odnosu na istu debljinu vakuumom oblikovanog polipropilena[21].



Slika 20. Direktno lijevana polipropilenska ljuska anatomskog uložka [21]

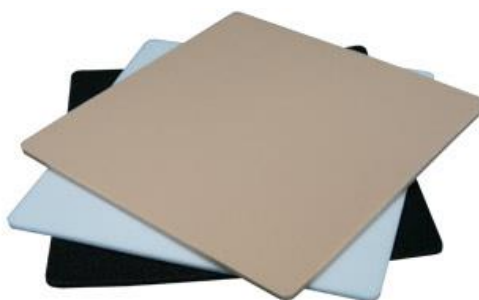
POLIETILEN

Polietilen je makromolekularni proizvod koji se dobiva polimerizacijom etilena [28].



Slika 21. Polietilen [28]

Polietilen dolazi u formi ploča. Iznimno se dobro termo modelira preko kalupa. Prilikom zagrijavanja se ne kontrahira što omogućava na mjeru točno rezanje priprema. Ortopedski ulošci izrađeni od polietilena su lagani, čvrsti i vrlo otporni na savijanje i udar. Ekspandirani polietilen u formi pjenastih ploča polietilenske pjene sa zatvorenim ćelijama posjeduje bitno drugačija svojstva. Pjene sa zatvorenim ćelijama kao što je Plastazote (Plastazote-trgovački naziv za polietilen u obliku pjene sa zatvorenim ćelijama proizvođača Zotefoams), se obično koriste kad je potrebno postići zadovoljavajuću prilagodbu obliku stopala, a ne funkcionalnu korekciju. Ovi su materijali iznimno lagani, te ih je vrlo jednostavno modificirati i pojačati drugim materijalima, što ih čini vrsnim rješenjem za pacijente s poremećajem kao što je dijabetes. Zbog njihovih visoko deformacijskih karakteristika, ovi su materijali kratkog vijeka trajanja, pa se ulošci napravljeni njihovim korištenjem moraju često mijenjati [16]. Plastazote može doći i u formi iznimno tvrdih ploča te se kao takav koristi za izradu baze uloška jer kvalitetno zadržava formu. Nedostatak ovakvog oblika je da je sklon lomu, te takve uloške nije preporučeno izrađivati za pacijente s većim opsegom dnevnih aktivnosti [21].



Slika 22. Plastazote pjene [29]

VINIL

Vinil je organski spoj koji sadrži nezasićenu vinilnu skupinu $\text{CH}_2=\text{CH}$. Sintetski materijal koji je izuzetno tvrd, žilav, dugotrajan, ekstremno tanak, otporan na trošenje, ne upija vlagu, minimalno trenje, izvrstan završni sloj u kombinaciji s materijalom koji amortizira. Zbog trenja pri hoda pri hoda povisuje se temperatura unutar obuće [21].



Slika 23. Vinil završni sloj uložka [30]

POLIURETANI

Poliuretan je polimer koji se sastoji od lanca organskih jedinica povezanih uretanskim vezama. To je zapravo plastična masa dobivena poliadicijom viševalentnih izocijanata s više valentnim alkoholima, aminima, kiselinama i drugim spojevima [31]. Poliuretani su našli značajno mjesto u proizvodnji ortopedskih uložaka, kako u izradi ortopedskog uložka tako i uzimanju otiska stopala u poliuretanskoj pjeni i izradi modela stopala ulijevanjem tekućeg poliuretana u dobivenu impresiju. Njihova primjena u izradi ortopedskog uložka uglavnom je svedena na pokrovni materijal. Radi se o materijalima koje nije moguće termički oblikovati i koji lijepljenjem na podliježući oblik preuzimaju njegovu formu. Ovi materijali su vrlo mekani te se njime pokrivaju svi tipovi uložaka, posebice one koji su napravljeni od krutih materijala, te u slučajevima kod kojih je potrebno postići značajno rasterećenje stopala. Poliuretani se uglavnom nakon djelovanja sile sporo oporavljaju. Među najpoznatijim materijalima s poliuretanskom osnovom su Poron i X2 [32]. Poron može biti zalijepljen na uložak bilo kojeg materijala kao dodatna amortizacija. Dostupan je u debljini 1.5 mm i 3 mm.

To je pjena otvorenih ćelija koja omogućava dugotrajnu deformaciju bez da se sabije. Ne koristi se kao završni sloj jer se prilikom trenja veoma troši [21].



Slika 24. Podloga anatomskog uložka izrađena od porona [33]

KOMPOZIT S OJAČALOM OD UGLJIČNA VLAKNA

Uobičajena forma je akrilna smola ojačana pletenim ugljičnim vlaknima. Osnovna prednost ovog materijala leži u njegovoj debljini; približno je 20% lakši i 50% tanji od polipropilena. Pored toga, kod ortopedskih uložaka napravljenih pomoću ovih materijala ne dolazi do promjene oblika, no postoji mogućnost da se slome. Potencijal loma za krute i polukrute uloške je približno 1% u 5 godina, dok za polufleksibilne verzije od 5 –10 % unutar 2 godine [16]. Ovaj materijal je relativno jednostavno prilagoditi (oblikovati) lokalnim zagrijavanjem, formiran je preko pozitivna kalupa. Jedna od namjena takvih uložaka da stane u obuću malog volumena kao što su klizaljke, pancerice i elegantne cipele [21].



Slika 25. Ljuska anatomskog uložka od ugljičnih vlakana [21]

SILIKONI

Silikoni su polimerni spojevi silicija nastali kontroliranom kondenzacijom ortosilikatne kiseline. Njihova svojstva daju izvrstan odnos mehaničkih i kemijskih svojstava, što je posebno izraženo u medicinskim aplikacijama. Ortopedski ulošci izrađeni od silikona su vrlo mekani i imaju za cilj apsorbirati reaktivnu silu podloge ili ublažiti stanja koja su posljedica njenog djelovanja. Iako se uglavnom radi o prefabriciranim ulošcima (silikon je gotovo nemoguće mehanički obrađivati, teško se lijepi za druge materijale) i o pomagalicama u vidu umetaka za prste, njihova primjena ima značajno mjesto u svim stanjima kod kojih je potrebno postići veliki komfor i ublažiti udarac stopala o podlogu. Silikoni spadaju u potpuno indiferentne materijale s nikakvim registriranim šetnim utjecajem na živo tkivo. Silikon se u obliku gela koristi i za dobivanje negativa forme prstiju ili drugih dijelova stopala [16].



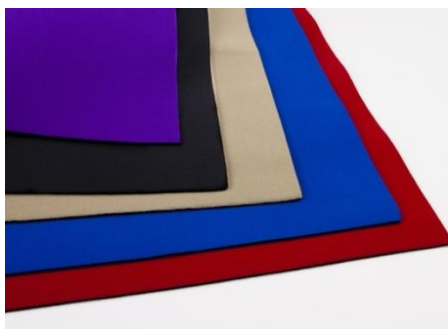
Slika 26. Silikonski ulošci [34]



Slika 27. Silikonski umetak za prste [34]

NEOPREN

Neopren je sintetički kaučuk koji se dobiva polimerizacijom 2-klorbuta-1,2-diena. Neopren se često upotrebljava umjesto prirodne gume na mjestima gdje se zahtijeva otpornost na kemikalije [35]. Neopren se široko koristi u ortopedskoj industriji te općenito u izradi proizvoda koji su u bliskom kontaktu s ljudskim tijelom (ronilačka odijela, podloge za računalne miševe, štitnici za sportaše, radnike i vojnike itd). Pokrov ortopedskog uložka od neoprena s otvorenim ćelijama pruža kvalitetnu apsorpciju vanjskih sila s brzim odgovorom i oporavkom površine. Materijal krasi žilavost, elastičnost, otpornost na utjecaj djelovanja vanjskih kemijskih, mehaničkih i fizikalnih utjecaja što ga čini trajnim i postojanim. Radi svojih svojstava opsežno se koristi kao pokrov uložaka za sportaše. Najpoznatije komercijalno ime je Spenco [16].



Slika 28. Neopren materijal za izradu pokrova ortopedskog uložka [36]

NYLENE

Dvoslojni materijal sastavljen od neoprena sa zatvorenim ćelijama koji je donji sloj i najlona koji je završni sloj. Neopren dobro amortizira, ne treba mu mnogo vremena da se sabije, a najlon kao gornji sloj ima nizak koeficijent trenja i otporan je na kidanje. Velika fleksibilnost tog materijala otežava umetanje u obuću [21].



Slika 29. Nylene završni sloj uloška [37]

4. TEHNOLOGIJE IZRADE ANATOMSKIH ULOŽAKA

IZRADA GIPSANOG KALUPA

Kod izrade gipsanog kalupa važno je pravilno postaviti stopalo te je bitno da je ono opušteno.



Slika 30. Namještanje stopala u pravilan položaj [38]

Zatim se uzimaju dvije trake gaze napunjene prahom koje se prislanjaju na pacijentovo stopalo kako bi se točno odredila duljina istih. Gaza koja se stavlja na stopalo se umače u toplu vodu na približno 5 sekundi, iza čega je potrebno ukloniti suvišnu vodu na način da se gaza provuče između kažiprsta i srednjeg prsta. Trake se pažljivo trebaju nanesti na stopala na točno propisan način.



Slika 31. Nanošenje gipsanih traka na stopalo [38]

Zatim se kalup na nozi suši. Bitno je prije skidanja provjeriti da li je kalup u potpunosti suh kako ne bi došlo do deformacija kalupa. Nakon pažljivog skidanja kalupa radi se provjera kako bi se utvrdila točnost izrađenog kalupa [38].



Slika 32. Pažljivo skidanje osušenog kalupa [38]

UZIMANJE OTISKA POMOĆU BIO-PJENE I POSLJEDIČNA PROIZVODNJA

To je jednostavan način za dobivanje specifičnih informacija potrebnih za proizvodnju individualnog ortopedskog uloška stopala. Pacijent sjedi na stolici poravnatih kukova koljena i gležnjeva pod kutom od 90° sa smještenim nogama na pjenu bez ikakvog pritiska. Kada je tijelo u željenom položaju, pritiskom na pacijentovo koljeno napravi se otisak u bio pjeni dubine 2-2.5 cm [39].



Slika 33. Uzimanje otiska stopala pomoću biopjene [40]

Bio pjena je fenolna pjena zatvorenih ćelija [41]. To je vodonepropustan materijal obično u rozoj i plavoj boji [42].

Prednost mu je što je otisak mekog tkiva točniji nego kod gipsanih kalupa i skeniranja, veće kontaktno područje kod završenog uloška u odnosu na gipsane kalupe, dosljednost, jednostavno čišćenje [43]. Kada su otisci uzeti u kalupe se lijeva gips.



Slika 34. Ulijevanje gipsa u otisak [1]

To se radi kako bi se dobio pozitiv otiska noge. Kada se gips otvrdne pjena se uklanja zatim se čisti te ako je potrebno rade se korekcije kako bi uložak bolje pasao. Ovisno o potrebama pacijenta biraju se materijali koji će biti korišteni. Materijal se zatim stavlja na kalup i zagrijava se u posebnim uređajima kako bi se oblikovao prema pozitivu otiska.



Slika 35. Grijanje materijala da se oblikuje prema pozitivu otiska [44]



Slika 36. Materijal na pozitivu otiska nakon grijanja [44]

Nakon što je materijal zagrijan i profiliran, skida se sa pozitiva otiska i obrađuje brušenjem kako bi se uklopio u željenu obuću.



Slika 37. Obrada uloška brušenjem [44]

Slijedi završna faza u kojoj se lijepi gornji završni sloj i slojevi materijala koji se dodaju radi udobnosti, podizanja pete i nekih drugih razloga. Kada su gotovi anatomske ulošci moraju proći kontrolu kvalitete prije isporuke kupcu [44].

3D SKENIRANJE STOPALA I CNC (computer numerical control) PROIZVODNJA

U zadnjih nekoliko godina se široko razvija jer se ispostavilo da je 3D skeniranje stopala vrijedan alat za profesionalnu izradu ortopedskih uložaka. Dobar sken noge će dati prostora doktorima da otkriju osnovne probleme funkcioniranja stopala koji drugačije možda ne bi bili uočeni [45]. Osnovne prednosti ovakvih uređaja su brzo prikupljanje i obrada podataka, vrlo precizno mjerenje, štedi vrijeme tehničaru i pacijentu i daje kompletnu informaciju o rasporedu opterećenja na stopalu što je veoma bitno [46].



Slika 38. Uzimanje otiska noge skenerom [47]

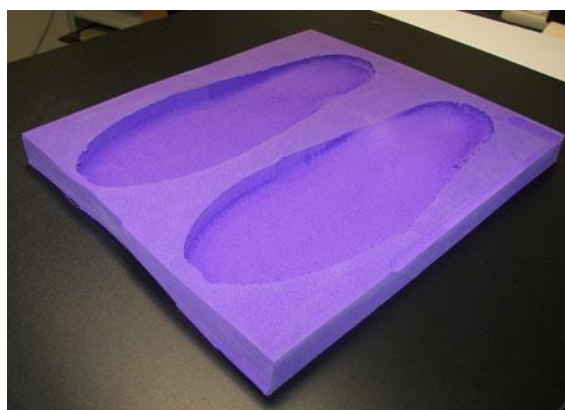


Slika 39. Prikaz raspodjele opterećenja [48]

Prema napravljenom 3D skenu noge izrađuje se virtualni ortopedski uložak koji odgovara snimci. Izrađeni virtualni ortopedski uložak se prebacuju na CNC (computer numerically controlled) glodalicu koja vođena programom izrađuje stvarni ortopedski uložak. Prednosti takvog načina proizvodnje su: lagan za rukovanje, brzina izrade uložka, preciznost prilikom izrade, manja je mogućnost greške nego kod drugih tehnika, nedostatak su visoke cijene opreme za takav način proizvodnje u odnosu na ostale [49].



Slika 40. Izrada uložka obradom odvajanjem čestica [49]



Slika 41. Uložak izrađen glodanjem na CNC-u od EVA pjene [50]

5. ZAKLJUČAK

Uviđanje potrebe za udobnijom obućom seže daleko u povijest, tada su za izradu obuće korišteni prirodni materijali. Razvoj medicine je pokazao da osim udobnosti pravilan položaj stopala utječe na kompletan položaj tijela, a deformacije mogu izazvati ozbiljne zdravstvene probleme. Naravno to je značilo da su zahtjevi puno veći od udobnosti te do tada korišteni materijali nisu mogli udovoljiti zahtjevima. Iako su se nastavili primjenjivati prvokorišteni materijali, vodeće mjesto su zauzeli sintetski materijali, a ti su: EVA, akrilati, polipropen, polietilen, vinil, poliuretani, kompoziti s ojačanjem od ugljičnih vlakana, silikoni, neopren, nylene... U ortopediji se najviše primjenjuje, etilen-vinil-acetat, akrilati i polipropilen zbog svojih povoljnih karakteristika za korisnika, ali također i zbog relativno laganog oblikovanja i kvalitete. Svi ti „moderni“ sintetski materijali su na bazi fosilnih goriva. Osiromašeni resursi ruda i nafte zajedno s pojačanim propisima o zaštiti okoliša sinergički daju poticaj za razvoj i primjenu novih materijala i proizvoda kompatibilnih s okolišem, a uz to su potpuno neovisni o fosilnim gorivima. Iz tih razloga bi se moglo razmišljati i o primjeni novih ekološki prihvatljivijih materijala i u ortopediji. Za početak bi se mogla zamijeniti sintetička vlakna sa prirodnima (npr. konoplja, konjska dlaka, bambus, drveno brašno, lan). Na taj način bi se kompozitni materijali u ortopediji uklopili u ovaj novi ekološki prihvatljiv trend.

LITERATURA

- [1] <http://www.orthotics-online.co.uk>
- [2] <http://www.fastechlabs.net/brief-history/>
- [3] ENCYCLOPEDIA OF BIOGRAPHY(397-389)
- [4] EVERETT H. DUNBAR'S / (foot / footsupport) / FOOT SUPPORT (TC-312044) Lynn, Massachusetts (EssexCounty), U.S.A.
- [5] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8205510>
- [6] http://articles.chicagotribune.com/2004-02-08/features/0402080477_1_foot-pain-foot-care-arch-support
- [7] <http://www.fastechlabs.net/brief-history/>
- [8] <http://www.kickphysio.ca/content/index.php?pid=3&id=22>
- [9]<http://pivotalpodiatry.com.au/custom-orthotics-melbourne>
- [10]<http://www.arrb.com.au/Equipment-services/Elastometer.aspx>
- [11] <http://www.simmachinetools.com/instron-1026-bench-model-tensile-testing-machine-pr-16254.html>
- [12] <http://www.physio4life.co.uk/wp-content/gallery/gaitscan/foot-gait-scan.jpg>
- [13]<http://www.sensorprod.com/foot-plate-pressure-sensor.php>
- [14]Kippen, Cameron (1999). *TheHistoryofFootwear*. Perth, Australia: Department ofPodiatry, CurtinUniversityofTechnology.
- [15] <http://www.e-kako.hr/drustvo/edukacija/480-kako-se-dobiva-pluto>

- [16] <http://www.algeos.com>
- [17] http://www.dplantex.com/media/images/productos_gal/thumbnails/204_800x600.jpg
- [18] http://www.ludwig-seibel.com/en/produkte_schuhsohlen.php
- [19] <http://www.dubides.com/store/eva-soft-full>
- [20] <http://www.polysciences.com/Catalog/Department/Product/98/categoryid--303/productid--2447/>
- [21] http://www.feetrelief.com/feetrelief/powerstep_pinnacle_max.htm
- [22] <http://www.mdipproducts.com/molded-closed-cell-foam/>
- [23] <http://www.prolaborthotics.com/Education/TermsandDefinitions/tabid/85/Default.aspx#>
- [24] <http://pslc.ws/macrog/acrylate.htm>
- [25] <http://quizlet.com/subject/Acrylic-resins-insoles-foot/>
- [26] <http://lonestarpodiatric.com/Home/functionalOrthotics>
- [27] Maier, Clive; Calafut, Teresa (1998). *Polypropylene: the definitive user's guide and data book*
- [28] F. Cardarelli: Materials Handbook, 2000, Springer ISBN 978-1-84628-668-1
- [29] <http://www.myrdalorthopedics.com/products/sheet-goods-room/plastazote-830>
- [30] <http://www.epioneorthotics.com/sports-orthoses-range.php>
- [31] <http://www.hrleksikon.info/definicija/poliuretani.html>
- [32] <http://www.bauerfeind.com>
- [33] <http://www.medicalsolutionssupplies.com>
- [34] <http://www.crispinorthotics.com/silicone-total-contact-insoles/>
- [35] <http://glossary.periodni.com/rjecnik.php?hr=neon>
- [36] <http://benecaredirect.com/products/Neoprene-Sheets-41-x-61cm-3.2mm.html>

- [37] http://shoprunningfit.com/index.php?main_page=index&manufacturers_id=39
- [38] <http://www.epioneorthotics.com/orthoses-casting-guide.php>
- [39] <http://www.biofoamimpression.com/casting/>
- [40] <http://www.croydonosteopath.co.uk/prescription-orthotics.htm>
- [41] http://orthopedia.wikia.com/wiki/Foot_Impression_Foam
- [42] <http://www.biofoamimpression.com/>
- [43] <http://kalorthoses.ca/casting-techniques-a-review-of-the-literature/>
- [44] <http://www.mborthotics.com/Blog/How-Custom-Made-Foot-Orthotics-Are-Made-Step-by-Step.html>
- [45] <http://www.stt-systems.com/en/products/scanners/foot-scanner/solescan-rubra/>
- [46] <http://www.orthobaltic.eu/easy-foot-scan.html>
- [47] <http://www.crawfordsvillechiropractor.com/foot-levelers-orthotics>
- [48] <http://olearychiropractic.net/services>
- [49] <http://www.footwork.com.au/orthotics>
- [50] <http://www.technocnc.com/orthotics/orthotics.htm>